



Title	界面環境のパターン設計に基づく液晶波面制御デバイスに関する研究
Author(s)	塚本, 脩仁
Citation	大阪大学, 2024, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/96076
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏 名 (塚 本 脩 仁)	
論文題名	界面環境のパターン設計に基づく液晶波面制御デバイスに関する研究
論文内容の要旨	
<p>本博士学位論文では、界面環境の新たなパターン設計手法を提案し、液晶波面制御デバイスの高機能化および新機能開拓に関する研究成果をまとめている。以下に各章の内容の要約を示す。</p> <p>第1章では、本博士学位論文における研究背景および目的を述べた。研究対象である液晶の基礎物理学について、光デバイス応用の観点から概説した。</p> <p>第2章では、パターン配向したネマティック液晶素子と一様配向したコレステリック液晶素子を組み合わせた液晶積層構造を提案し、異なる2つの光渦を同軸光線上に生成できることを明らかにした。シミュレーション解析により提案素子からの反射光の円偏光成分に2倍異なるベリ一位相が付与されることが分かった。ベリ一位相の符号はネマティック液晶の配向方位角分布およびコレステリック液晶の螺旋の向きで決まることが分かった。パターン配向したネマティック液晶素子と一様配向したコレステリック液晶素子を作製し、干渉像観察および回折像観察により提案デバイスからの反射光の左右円偏光成分は2倍異なるトポロジカルチャージを有する光渦となること、またそれらは完全に同軸光線上に生成されることを実証した。</p> <p>第3章では、フォトリソグラフィ法を利用し、同一基板上に濡れ性の異なる2つの配向膜を形成する親液撥液パターンニングを提案した。親液撥液パターンニングを用いた液晶フレネルゾーンプレートを開発し、電気的に焦点距離を制御できることを明らかにした。駆動電圧1V程度を達成し、ミリボルトオーダーの電圧変化に対してマイクロメートルオーダーの焦点距離制御が可能であることを実証した。従来の液晶レンズに比べて1/50以上の駆動電圧の低減を実現した。</p> <p>第4章では、親液撥液パターンニングを用いた液晶スパイラルゾーンプレートを開発し、単一素子構成で集光光渦が生成できることを明らかにし、さらに従来主流であった振幅型に比べて約2倍の回折効率が得られることを実証した。シミュレーション解析により光渦の位相特異点とレンズ光軸が完全に一致して光が伝搬することを明らかにした。提案素子を作製し、焦点距離前後の回折像を観察することで集光光渦が生成されることを実証した。</p> <p>第5章では、紫外線を用いて表面改質した垂直配向ポリイミド膜上の液晶配向挙動を評価し、紫外線照射量に依存してプレチルト角を自在に制御できることを明らかにした。さらに、紫外線照射量を空間的に制御することでプレチルト角分布を有する液晶偏向素子を作製し、その電気光学特性を評価し、偏向角を電気的に制御できることを実証した。</p> <p>第6章では、第2章から第5章で示した研究成果を総括し、本博士学位論文における結論を述べた。</p>	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (塚 本 脩 仁)				
論文審査担当者	(職)		氏 名	
	主 査	教 授	尾崎 雅則	
	副 査	教 授	森 勇介	
	副 査	講 師	吉田 浩之	
	副 査	招へい教授	光井 將一	
	副 査	特任教授	菰田 卓哉	(エマージングサイエンスデザイン R3 センター)

論文審査の結果の要旨

本博士論文では、液晶素子内の液晶—基板界面の状態、すなわち界面環境の新たなパターン設計手法を提案し、液晶波面制御デバイスの高機能化および新機能開拓を検討している。以下に各章における内容を要約する。

第 1 章では、本研究を行うに至った背景を述べ、当該分野における本研究の位置づけならびに本博士論文の目的および構成について述べている。また、本論文の研究対象である液晶およびその素子応用について概説している。

第 2 章では、液晶の局所光配向技術を用いて素子の基板面上の配向容易軸の空間分布を制御することにより、ダイレクター方位角をパターンニングした液晶素子を提案している。具体的には、パターン配向したネマティック液晶層と一様配向したブラナー型コレステリック液晶層からなる積層構造を提案し、トポロジカルチャージの異なる 2 つの光渦を同軸光線上に生成できることを明らかにしている。提案素子からの反射光の円偏光成分に、ネマティック液晶の方位角分布およびコレステリック液晶の螺旋符号で決まる異なるベリー位相が付与されることを、シミュレーションならびに実験により確認している。

第 3 章では、フォトリソグラフィ法を用いて、素子の同一基板面上に濡れ性の異なる二種類の配向膜を混在させた親液撥液パターンを有する液晶素子を提案している。具体的には、親液撥液パターンニングを用いた液晶フレネルゾーンプレートを設計し、焦点距離可変レンズを実現している。作製したフレネルゾーンプレートは、従来の液晶レンズに比べて 50 分の 1 以下の駆動電圧で、焦点距離をマイクロメートルオーダーで制御可能であることを実証している。

第 4 章では、第 3 章で提案した親液撥液パターンニング手法を用いて位相型スパイラルゾーンプレートを提案し、単一素子構成で光渦の生成と集光が同時に実現できることを明らかにしている。フレネル回折理論に基づく光伝搬解析を行い、生成される光渦の位相特異点とレンズ光軸を完全に一致させて光を伝搬させることができることを明らかにし、さらに、提案素子を作製し焦点前後の回折像を観察することにより集光光渦が生成されることを実証している。

第 5 章では、配向膜に紫外線を照射することにより、液晶ダイレクターの基板面からの立ち上がり角（プレチルト角）の空間的な分布を制御する新たな手法を提案し、連続的なプレチルト角分布を有する液晶偏向素子を実現している。垂直配向ポリイミド膜に紫外線を照射することにより、膜表面の改質により表面自由エネルギーが変化し、紫外線照射量に依存して膜上の液晶のプレチルト角が変化することを確認しており、そのメカニズムとして表面自由エネルギーの極性成分（双極子相互作用および水素結合成分）のみが変化することを明らかにしている。この紫外線照射による配向膜改質を利用して、プレチルト角が空間的に連続に変化する液晶偏向素子を実現し、電界印加により偏向角を制御できることを実証している。

第 6 章では、第 2 章から第 5 章までで得られた研究成果を総括し、本学位論文の結論としている。

以上のように、本論文は、これまで主に面内の方位角分布の空間パターンニングにとどまっていた光配向パターン液晶素子を、極角分布制御を組み合わせることにより三次元的なダイレクターパターンを有する高機能な液晶素子に拡張できることを実証している。これは、液晶光学素子の新しい可能性を示すものであり、電気電子情報通信工学に寄与するところが多い。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。